

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПАРΟΣНАБЖЕНИЯ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ

Д. Ю. Муромцев¹, Б. С. Дмитриевский², К. С. Василевский²,
А. А. Терехова², М. Л. Гогорян², Д. Г. Дмитриев²

Кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» (1);
«Информационные процессы и управление» (2),
terehova.aa@mail.tstu.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия

Ключевые слова: математическая модель; объект управления; пароснабжение; система управления; схема материального распределения; уравнение материального баланса; уравнение энергетического баланса.

Аннотация: Рассмотрен технологический процесс пароснабжения нефтеперерабатывающего предприятия, состоящий из последовательно и параллельно соединенных трубопроводами установок-потребителей и установок-генераторов пара среднего и высокого давления. В результате проведенного анализа выявлены особенности объекта управления, изучено влияние входных, в том числе возмущающих, величин на выходные и определены управляющие воздействия. На основе схем материального распределения построены математические модели установок, потребляющих и производящих пар различного давления, а также конденсата. Модели состоят из уравнений материального и энергетического балансов и необходимы для усовершенствования управления энергетическими ресурсами – паром среднего и высокого давления.

Обозначения

$C_{пс}$, C_k – удельная теплоемкость пара среднего давления и конденсата соответственно, Дж/(кг·К);	$i_{пс}^{вх}$, $i_{пс}^{вых}$ – энтальпия входящего острого пара высокого давления и выходящего пара среднего давления соответственно, Дж/кг;
D – наружный диаметр трубопровода внутри установки, м;	$i_k^{вых}$ – энтальпия выходящего конденсата, Дж/кг;
f – тепловое рассеивание в атмосферу;	l – общая длина трубопровода внутри установки, м;
F – коэффициент теплопередачи между трубопроводом установки и наружным воздухом, Вт/(м·К);	L – удельная теплота парообразования воды, Дж/кг;
$G_{пс}^{вн}$ – расход пара от внешнего источника, м ³ ;	$M_{пс}$, M_k – масса пара среднего давления и конденсата соответственно, кг;
$G_{пс}^{пт}$ – расход потребления пара, м ³ ;	$M_{пс}$ – молярная масса пара, кг/моль;
$G_{вод}$, $T_{вод}$ – расход и температура воды;	P_r – технологический приоритет;
$Gk_{пс}^{max}$ – максимальный расход пара высокого давления, подаваемого с заводской котельной (максимальная расчетная производительность);	$P_{пс}^{вых}$, $G_{пс}^{вых}$ – соответственно давление и расход пара, генерируемого установкой;
$Gm_{пс}^{min}$, $Gm_{пс}^{max}$ – соответственно минимальный и максимальный расходы пара высокого давления, подаваемого с ТЭЦ;	$P_{пс}^{уст}$ – установившееся давление пара, кПа;
	S – суммарная площадь поверхности теплообмена трубопровода установки с окружающей средой, м ² ;
	$T^в$ – температура наружного воздуха, К;

$T_{\text{вод}}$ – начальная температура воды, °С;	пература, давление и расход конденсата, генерируемого установкой;
$T_{\text{пс}}$ – температура пара среднего давления, °С;	$T_{\text{п}}^{\text{вх}}$, $T_{\text{п}}^{\text{вых}}$ – температура входящего пара высокого давления и выходящего пара среднего давления соответственно, К;
$T_{\text{п}}^{\text{вх}}$, $P_{\text{п}}^{\text{вх}}$ – соответственно температура и давление пара, подаваемого на установку;	$T_{\text{в}}^{\text{кип}}$ – температура кипения воды, К;
$T_{\text{п}}^{\text{вых}}$ – температура пара, генерируемого установкой;	$Q_{\text{с.н}}$ – количество теплоты потребления собственных нужд установки, Дж.
$T_{\text{к}}^{\text{вых}}$, $P_{\text{к}}^{\text{вых}}$, $G_{\text{к}}^{\text{вых}}$ – соответственно тем-	

Введение

Водяной пар различного давления является одним из основных источников энергии на любом нефтеперерабатывающем предприятии, поэтому задача организации его энергоэффективного распределения и потребления является актуальной для большинства нефтехимических, нефтеперерабатывающих предприятий [1]. В основном эта задача решается путем разработки систем автоматизированного управления [2 – 7].

Современное состояние технологии и исследований в области моделирования и управления процессом пароснабжения на предприятиях нефтепромышленного комплекса показывает, что построение системы, отвечающей строгим современным требованиям, невозможно без точной математической модели технологического процесса, входящей в состав математического обеспечения системы управления [8 – 13].

Существующие автоматизированные системы неспособны в полной мере отвечать требованиям по качеству управления процессом пароснабжения, поэтому построение математической модели процесса пароподдачи окажет существенную помощь в разработке современной системы управления, позволяющей достичь минимума энергозатрат на изготовление единицы продукции.

Анализ объекта управления

Водяной пар на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях используется как основной теплоноситель. На технологических установках для нагрева нефтепродуктов, паротушения, распыла топлива применяется острый и насыщенный пар высокого (ПВД) и среднего (ПСД) давления.

Как правило, большая часть ПВД и ПСД генерируется внутри предприятия и распределяется между установками-потребителями. Тепло от таких установок котлы-утилизаторы преобразуют в водяной пар. Если пара низкого давления не хватает, то проводится его добавление из системы ПВД с помощью редуционно-охладительных установок (РОУ). Недостающий пар поступает с ТЭЦ.

Образующий конденсат собирается с технологических установок, очищается и затем поступает в тепловые сети. Для распределения пара и конденсата между установками используется сеть межцеховых трубопроводов.

Разделим установки, входящие в состав технологического процесса, на следующие группы:

- генерирующие пар высокого давления;
- генерирующие пар высокого и среднего давления;
- генерирующие пар среднего давления;
- потребляющие пар высокого давления, пар среднего давления и вырабатывающие конденсат;
- потребляющие пар среднего давления и производящие конденсат;
- потребляющие пар высокого давления и производящие конденсат.

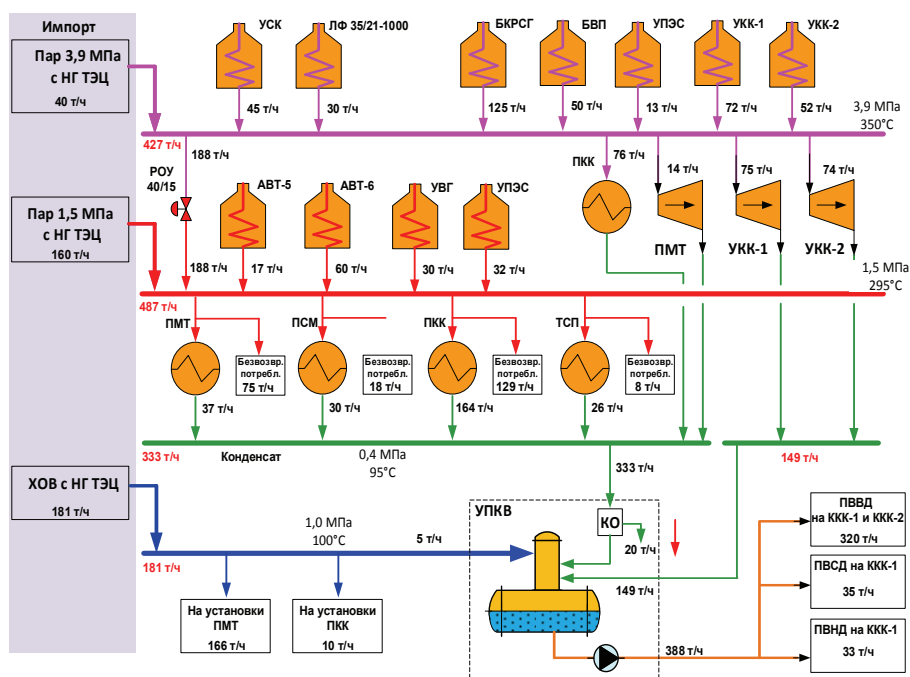


Рис. 1. Балансовая пароконденсатная схема нефтеперерабатывающего предприятия

Балансовая пароконденсатная схема приведена на рис. 1.

В системе ПВД поддерживается заданное значение давления, излишки пара через редукционно-охладительную установку отводятся в систему ПСД. Для каждой установки предусмотрен отдельный редукционный узел, который корректирует параметры пара в соответствии с регламентом.

Из-за изменения температуры в зависимости от времени года существуют потери температуры и давления пара в установках и на внешнем и внутреннем паропроводе. Поэтому предусмотрено повышение температуры и давления подаваемого пара в соответствии с температурным графиком.

Для анализа процесса пароснабжения как объекта управления необходимо определить векторы входных, выходных и возмущающих воздействий. Разделим объект условно на установку-потребитель ПВД или ПСД, установку-генератор ПВД или ПСД.

Рассмотрим установку, осуществляющую потребление пара высокого давления, генерацию пара среднего давления и конденсата. Для установок, не имеющих генерацию ПСД или конденсата, коэффициент передачи по этим каналам примем за «0».

В качестве управляющих воздействий выберем расход пара, подаваемого на установку, $G_{\text{п}}^{\text{ВХ}}$; команду управления Cmd; задание управления Task.

Схема установки как объекта управления представлена на рис. 2.

Комбинация подобных установок, потребляющих и производящих пар различного давления, а также конденсата, составляет типовой технологический процесс пароснабжения.

Обозначим: ВПГ – внешний паровой генератор; УГ₁, ..., УГ_N – установки, производящие острый пар высокого давления; УВС₁, ..., УВС_M – установки, потребляющие ПВД, производящие ПСД и конденсат; УВК₁, ..., УВК_P – установки,

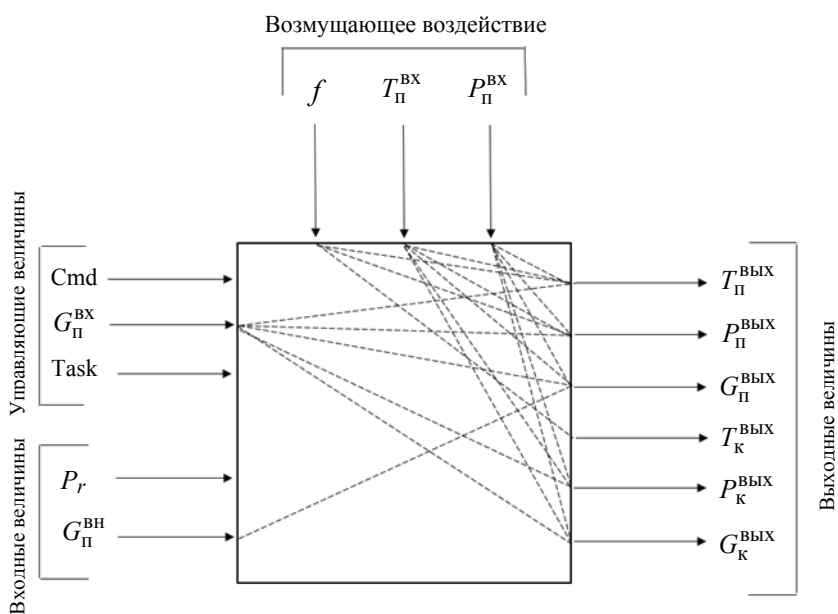


Рис. 2. Технологическая установка как объект управления

потребляющие ПВД и производящие конденсат; $УС_1, \dots, УС_R$ – установки, потребляющие ПСН и производящие конденсат; N, M, P, R – число установок данного типа.

Технологическую установку, представленную на рис. 2, можно назвать универсальной ячейкой, но также возможно выделение отдельной ячейки для УВС, УВК, УС, РОУ.

Формирование математической модели

Составим математическую модель установки УВС [14], которая будет состоять из уравнений материального и энергетического баланса.

Схема материального распределения внутри установки показана на рис. 3.

Уравнение материального баланса

$$\frac{dM_{\text{пс}}}{d\tau} = G_{\Pi}^{\text{ВХ}} - G_{\Pi}^{\text{ПТ}} - G_{\text{к}}^{\text{ВЫХ}} - G_{\text{пс}}^{\text{ВЫХ}}. \quad (1)$$

Уравнение энергетического баланса

$$\begin{aligned} \frac{d(M_{\text{пс}} C_{\text{пс}} T_{\text{пс}})}{d\tau} = & G_{\Pi}^{\text{ВХ}} i_{\Pi}^{\text{ВХ}} - G_{\Pi}^{\text{ПТ}} i_{\Pi}^{\text{ВХ}} - G_{\text{к}}^{\text{ВЫХ}} i_{\text{к}}^{\text{ВЫХ}} - G_{\text{пс}}^{\text{ВЫХ}} i_{\text{пс}}^{\text{ВЫХ}} + \\ & + G_{\text{пс}}^{\text{ВЫХ}} C_{\text{пс}} (T_{\Pi}^{\text{ВХ}} - T_{\text{пс}}^{\text{ВЫХ}}) + G_{\text{к}}^{\text{ВЫХ}} L - SF(T_{\Pi}^{\text{ВХ}} - T^{\text{В}}) - Q_{\text{с.н}}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$i^{\text{ВХ}} = f_1(P_{\Pi}^{\text{ВХ}}, T_{\Pi}^{\text{ВХ}}); \quad (3)$$

$$i_{\text{к}}^{\text{ВЫХ}} = f_2(P_{\text{к}}^{\text{ВЫХ}}, T_{\text{в}}^{\text{КИП}}); \quad (4)$$

$$i_{\text{пс}}^{\text{ВЫХ}} = f_1(P_{\text{пс}}^{\text{ВЫХ}}, T_{\text{пс}}^{\text{ВЫХ}}); \quad (5)$$

$$G_{\Pi}^{\text{ВХ}} = \alpha_1 \sqrt{P_{\Pi}^{\text{ВХ}} - P_{\Pi}^{\text{УСТ}}}; \quad (6)$$

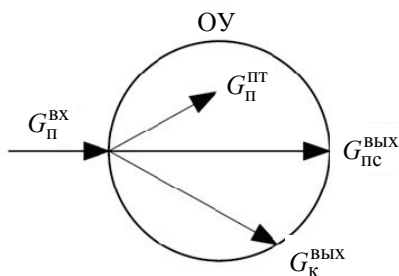


Рис. 3. Схема материального распределения установки УВС

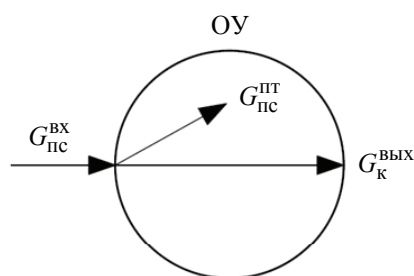


Рис. 4. Схема материального распределения установки УС

$$G_{\text{П}}^{\text{ПТ}} = \alpha_2 G_{\text{П}}^{\text{BX}} ; \quad (7)$$

$$P_{\text{П}}^{\text{BX}} V_{\text{П}}^{\text{BX}} = \frac{M_{\text{П}}^{\text{BX}}}{M_{\text{П}}} RT_{\text{П}}^{\text{BX}} ; \quad (8)$$

$$P_{\text{Пс}}^{\text{ВЫХ}} V_{\text{Пс}}^{\text{ВЫХ}} = \frac{M_{\text{П}}^{\text{ВЫХ}}}{M_{\text{П}}} RT_{\text{Пс}}^{\text{ВЫХ}} ; \quad (9)$$

$$S = \pi DL ; \quad (10)$$

$$Q_{\text{с.н}} = f_3(G_{\text{П}}^{\text{BX}}, T_{\text{П}}^{\text{BX}}, T^{\text{В}}) . \quad (11)$$

Схема распределения материальных потоков установки УВК [14, 15] отличается от схемы установки УВС тем, что генерация пара среднего давления равна нулю.

Уравнение материального баланса

$$\frac{dM_{\text{Пс}}}{d\tau} = G_{\text{П}}^{\text{BX}} - G_{\text{П}}^{\text{ПТ}} - G_{\text{К}}^{\text{ВЫХ}} . \quad (12)$$

Уравнение энергетического баланса аналогично с учетом формул (3) – (11)

$$\frac{d(M_{\text{Пс}} C_{\text{Пс}} T_{\text{Пс}})}{d\tau} = G_{\text{П}}^{\text{BX}} i_{\text{П}}^{\text{BX}} - G_{\text{П}}^{\text{ПТ}} i_{\text{П}}^{\text{ПТ}} - G_{\text{К}}^{\text{ВЫХ}} i_{\text{К}}^{\text{ВЫХ}} + G_{\text{К}}^{\text{ВЫХ}} L - SF(T_{\text{П}}^{\text{BX}} - T^{\text{В}}) - Q_{\text{с.н}} . \quad (13)$$

Рассмотрим установку-потребитель пара среднего давления, производящую конденсат (тип УС [16]). Схема распределения материальных потоков для данной установки представлена на рис. 4.

$$\frac{dM_x}{d\tau} = G_{\text{Пс}}^{\text{BX}} - G_{\text{Пс}}^{\text{ПТ}} - G_{\text{К}}^{\text{ВЫХ}} . \quad (14)$$

Уравнение энергетического баланса аналогично с учетом формул (3) – (11)

$$\begin{aligned} \frac{d(M_{\text{Пс}} C_{\text{Пс}} T_{\text{Пс}})}{d\tau} = & G_{\text{П}}^{\text{BX}} i_{\text{П}}^{\text{BX}} - G_{\text{П}}^{\text{ПТ}} i_{\text{П}}^{\text{ПТ}} - G_{\text{К}}^{\text{ВЫХ}} i_{\text{К}}^{\text{ВЫХ}} + \\ & + G_{\text{К}}^{\text{ВЫХ}} L - SF(T_{\text{П}}^{\text{BX}} - T^{\text{В}}) - Q_{\text{с.н}} . \end{aligned} \quad (15)$$

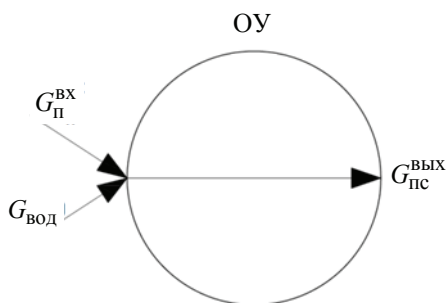


Рис. 5. Схема материального распределения РОУ

Рассмотрим редукционно-охлаждающую установку [17], понижающую давление пара с высокого до среднего. Математическая модель РОУ состоит из материального и энергетического баланса. Схема распределения материальных потоков для РОУ представлена на рис. 5.

Уравнение материального баланса

$$\frac{dM_{пс}}{d\tau} = G_{п}^{BX} + G_{вод} - G_{пс}^{ВЫХ}. \quad (16)$$

Уравнение энергетического баланса получаем аналогично с учетом формул (3) – (11)

$$\begin{aligned} \frac{d(M_{пс}C_{пс}T_{пс})}{d\tau} = & G_{п}^{BX}i_{п}^{BX} - (G_{вод} + G_{пс})i_{пс}^{ВЫХ} - G_{вод}C_{вод}(T_{в}^{КИП} - T_{вод}) - \\ & - G_{вод}L - G_{п}^{BX}C_{п}(T_{п}^{BX} - T_{пс}) - SF(T_{п}^{BX} - T_{в}) - Q_{с.н}. \end{aligned} \quad (17)$$

Задача управления процессом пароснабжения

Разобьем общую задачу управления процессом пароснабжения на две подзадачи:

1) необходимо осуществить питание установок, потребляющих ПВД и ПСД, паром, параметры которого ограничены технологическим регламентом соответствующей установки, то есть использовать локальные автономные системы автоматического регулирования для каждой из установок с пересчетом уставок регуляторов в зависимости от возмущений;

2) необходимо найти такое суммарное управляющее воздействие, при котором при минимальном использовании внешних энергетических ресурсов будет полностью использована генерируемая внутри предприятия энергия при заданной производственной мощности нефтепереработки.

При условии $G_{ПВД} > \sum_{i=1}^N G_{п}^{ВЫХ}[i]$ происходит подпитка магистрали ПВД со стороны внешнего источника пара [18].

При условии $G_{ПВД} > \left(G_{пс}^{ВЫХ}[0.1] + \sum_{j=1}^M G_{п}^{ВЫХ}[1.j] + \sum_{k=1}^P G_{п}^{ВЫХ}[2.k] \right)$ происходит увеличение производительности установок, генерирующих ПСД при условии «запаса» по расходу ПВД 10 % [19].

При условии $G_{ПВД} > \left[\sum_{i=1}^N G_{п}^{ВЫХ} + [i]G_{п}^{ВН}(\max) \right]$ предусмотрено отключение работающих установок в соответствии с таблицей приоритетов [19, 20].

Для каждого из режимов должна выполняться система ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{\Pi}^{\text{BH}} + \sum_{i=1}^N G_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} [i] - G_{\Pi}^{\text{ВХ}} [0.1] - \sum_{j=1}^M G_{\Pi}^{\text{ВХ}} [1.j] - \sum_{k=1}^P G_{\Pi}^{\text{ВХ}} [2.k] = 0; \\ G_{\text{ПС}}^{\text{ВЫХ}} [0.1] - \sum_{j=1}^M G_{\text{ПС}}^{\text{ВЫХ}} [1.j] - \sum_{l=1}^R G_{\text{ПС}}^{\text{ВХ}} [3.l] = 0; \\ 0.1 G k_{\Pi}^{\text{max}} \leq G_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} [1] \leq 0,85 G k_{\Pi}^{\text{max}}; \\ \sum_{i=2}^N G_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} [i] = \text{const}^*; \\ G m_{\Pi}^{\text{min}} \leq G_{\Pi}^{\text{BH}} \leq G m_{\Pi}^{\text{max}}; \\ G m_{\Pi}^{\text{min}} = f(T_{\text{B}} T_{\Pi}); \\ G m_{\Pi}^{\text{max}} = \text{const}^*; \\ G k_{\Pi}^{\text{max}} = \text{const}^*. \end{array} \right. \quad (18)$$

В качестве критериев оптимальности можно использовать:

1. Потребление пара высокого давления со стороны внешнего источника

$$J_1 = G_{\Pi}^{\text{BH}}. \quad (19)$$

2. Суммарную выработку ПВД

$$J_2 = \sum_{i=1}^N G_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} [i]. \quad (20)$$

3. Суммарную выработку ПСД

$$J_3 = G_{\text{ПС}}^{\text{ВЫХ}} [0.1] + \sum_{j=1}^M G_{\text{ПС}}^{\text{ВЫХ}} [1.j] + \sum_{k=1}^P G_{\text{ПС}}^{\text{ВЫХ}} [2.k]. \quad (21)$$

Заключение

Рассмотрено современное состояние технологии и исследований в области моделирования и управления процессом пароснабжения на предприятиях нефтепромышленного комплекса. Представлено описание технологического процесса пароснабжения высокого давления. Проведен анализ существующих систем управления. Даны обоснования для разработки системы управления на основе математических моделей. На основании вышеизложенного построена модель процесса пароснабжения на нефтеперерабатывающем предприятии, решающая задачу управления данным процессом.

Список литературы

1. Вережкин, А. П. Модернизация систем управления и обеспечения безопасности как инструмент повышения эффективности процессов переработки нефти и газа / А. П. Вережкин, Т. М. Муртазин, Ф. Г. Насибуллин // Территория Нефтегаз. – 2019. – № 10. – С. 12 – 17.
2. Sharma, K. L. S. Overview of industrial process automation / K. L. S. Sharma. – Amsterdam : Elsevier Science, 2011. – 320 p.

3. Управление инновационным развитием наукоемкой производственной системы / В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, О. В. Дмитриева [и др.] // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2016. – № 3 (61). – С. 146 – 152.
4. Коновалов, В. И. Основные пути энергосбережения и оптимизации в тепло- и массообменных процессах и оборудовании / В. И. Коновалов, Н. Ц. Гагапова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 796 – 811.
5. Управление объектами с взаимосвязанными величинами / М. Н. М. Саиф, В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 206 – 218. doi: 10.17277/vestnik.2019.02.pp.206-218
6. Разработка программного комплекса системы управления сложными производственными процессами / В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, А. А. Терехова [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 168 – 184. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.168-184
7. Управление расписанием многосвязной производственной системы / В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, А. А. Терехова [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 50 – 61. doi: 10.17277/vestnik.2021.01.pp.050-061
8. Фарунцев, С. Д. Опыт применения методов математического моделирования для построения комплексных моделей управления объектами промышленной подготовки нефти / С. Д. Фарунцев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 12. – С. 7 – 21.
9. Математические модели многосвязных объектов управления / М. Н. М. Саиф, В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 53 – 62
10. Двухмодельный комплекс для исследования процесса адсорбции водорода / Б. С. Дмитриевский, М. Х. Х. Альруйшид, А. А. Терехова [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2021. – Т. 27, № 4. – С. 528 – 535. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.528-535
11. Математическое моделирование и оптимальное управление процессом адсорбционного получения водорода / М. Х. Х. Альруйшид, Б. С. Дмитриевский, А. А. Терехова [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 35 – 45. doi: 12.17277/vestnik.2022.01.pp.035-045
12. Redutskiy, Yu. Conceptualization of smart solutions in oil and gas industry / Yu. Redutskiy // Procedia. Computer Science. – 2017. – Vol. 109. – P. 745 – 753.
13. Громаков, Е. И. Развитие перспективной автоматизации в нефтегазовой отрасли / Е. И. Громаков, Т. Е. Мамонова, А. В. Липиниш, А. В. Рымшин // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 10. – С. 98 – 102.
14. Математическое моделирование каталитических процессов переработки углеводородного сырья / А. В. Кравцов, Э. Д. Иванчина, Е. Н. Ивашкина [и др.] // Катализ в промышленности. – 2008. – № 6. – С. 41 – 46.
15. Ушева, Н. В. Математическое моделирование химико-технологических процессов / Н. В. Ушева, О. Е. Мойзес, О. Е. Митянина, Е. А. Кузьменко. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 135 с.
16. Грачев, Ю. П. Моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов / Ю. П. Грачев, А. К. Тубольцев, В. К. Тубольцев. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 216 с.
17. Иванец, К. Я. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация / К. Я. Иванец, А. Н. Лейбо. – СПб. : Химия, 1966. – 343 с.
18. Матвейкин, В. Г. Задача управления процессом каталитического риформинга и метод ее решения / В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, А. Г. Кокуев, А. М. Джембеков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 6. – С. 59 – 67.

19. Поляк, Б. Т. Робастная устойчивость и управление / Б. Т. Поляк, П. С. Щербаков. – М. : Наука, 2002. – 303 с.

20. Жоров, Ю. М. Расчеты и исследования каталитических процессов нефтепереработки / Ю. М. Жоров. – М. : Химия, 1973. – 216 с.

Building a Model of the Steam Supply Process at an Oil Refinery

D. Yu. Muromtsev¹, B. S. Dmitrievsky², K. S. Vasilevsky²,
A. A. Terekhova², M. L. Gogoryan², D. G. Dmitriev²

Department of Design of Radioelectronic and Microprocessor Systems (1),

Department of Information Processes and Management (2),

terekhova.aa@mail.tstu.ru; TSTU, Tambov, Russia

Keywords: mathematical model; control object; steam supply; control system; scheme of material distribution; material balance equation; energy balance equation.

Abstract: The paper considers a technological process of steam supply of an oil refinery, consisting of consumer installations and medium and high pressure steam generators connected in series and in parallel by pipelines. As a result of the analysis, the features of the control object were identified, the influence of input, including disturbing, values on the output values was studied, and control actions were determined. Mathematical models of installations consuming and producing steam of various pressures, as well as condensate, are built on the basis of material distribution schemes. The models consist of material and energy balance equations and are necessary to improve the management of energy resources – medium and high pressure steam.

References

1. Verevkin A.P., Murtazin T.M., Nasibullin F.G. [Advanced process control and safety systems as a tool for increased oil and gas processing efficiency], *Territoriya Neftegaz* [Neftegaz Territory], 2019, no. 10, pp. 12-17. (In Russ., abstract in Eng.).

2. Sharma K.L.S. *Overview of industrial process automation*. Amsterdam: Elsevier Science, 2011, 320 p.

3. Matveikin V.G., Dmitrievsky B.S., Dmitrieva O.V., Raziya V.R., Sivova M.V. [Management of innovative development of a knowledge-intensive production system], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Univesitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2016, no. 3 (61), pp. 146-152. (In Russ., abstract in Eng.).

4. Kononov V.I., Gatapova N.Ts. [The main ways of energy saving and optimization in heat and mass transfer processes and equipment], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2008, vol. 14, no. 4, pp. 796-811. (In Russ., abstract in Eng.).

5. Saif M.N.M., Matveikin V.G., Dmitrievsky B.S., Bashkatova A.V., Mamontov A.A. [Management of objects with interrelated quantities], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2019, vol. 25, no. 2, pp. 206-218. (In Russ., abstract in Eng.).

6. Matveikin V.G., Dmitrievsky B.S., Terekhova A.A., Al Knfer S.N.A., Al Amidi M.A.D. [Development of a software complex for the management of complex

production processes], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2021, vol. 27, no. 2, pp. 168-184. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.168-184 (In Russ., abstract in Eng.).

7. Matveikin V.G., Dmitrievsky B.S., Terekhova A.A., Lemkina M.V., Al Knfer S.N.A., Al Amidi M.A.D. [Schedule management of a multi-connected production system], *Transactions of the Tambov State Technical University*, V.G. Matveikin, 2021, vol. 27, no. 1, pp. 50-61. doi: 10.17277/vestnik.2021.01.pp.050-061 (In Russ., abstract in Eng.).

8. Faruntsev S.D. [The experience of using mathematical modeling methods for constructing complex models of management of oil field treatment facilities], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering], 2021, vol. 332, no. 12, pp. 7-21. (In Russ., abstract in Eng.).

9. Saif M.N.M., Matveikin V.G., Dmitrievsky B.S., Bashkatova A.V., Mamontov A.A. [Mathematical models of multi-connected control objects], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2019, vol. 25, no. 1, pp. 53-62 (In Russ., abstract in Eng.).

10. Dmitrievsky B.S., Alruyshid M.H.H., Terekhova A.A., Ishin A.A., Skvortsov S.A. [A two-model complex for the study of the hydrogen adsorption process], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2021, vol. 27, no. 4, pp. 528-535. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.528-535 (In Russ., abstract in Eng.).

11. Alruyshid M.H.H., Dmitrievsky B.S., Terekhova A.A., Ishin A.A., Skvortsov S.A. [Mathematical modeling and optimal control of the process of adsorption production of hydrogen], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2022, vol. 28, no. 1. pp. 35-45. doi: 12.17277/vestnik.2022.01.pp.035-045 (In Russ., abstract in Eng.).

12. Redutskiy Yu. Conceptualization of smart solutions in oil and gas industry, *Procedia. Computer Science*, 2017, vol. 109, pp. 745-753.

13. Gromakov E.I., Mamonova T.E., Liepinish A.V., Rymshin A.V. [Development of perspective automation in the oil and gas industry], *Neftyanoye khozyaystvo* [Oil industry], 2019, no. 10, pp. 98-102. (In Russ., abstract in Eng.).

14. Kravtsov A.V., Ivanchina E.D., Ivashkina E.N., Kostenko A.V., Yuryev E.M., Beskov V.S. [Mathematical modeling of catalytic processes of hydrocarbon raw materials processing], *Kataliz v promyshlennosti* [Catalysis in industry], 2008, no. 6, pp. 41-46. (In Russ., abstract in Eng.).

15. Usheva N.V., Moises O.E., Mityanina O.E., Kuzmenko E.A. *Matematicheskoye modelirovaniye khimiko-tekhnologicheskikh protsessov* [Mathematical modeling of chemical-technological processes]. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2014, 135 p. (In Russ.).

16. Grachev Yu.P., Tuboltsev A.K., Tuboltsev V.K. *Modelirovaniye i optimizatsiya teplo- i massoobmennykh protsessov* [Modeling and optimization of heat and mass transfer processes]. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984, 216 p. (In Russ.).

17. Ivanets K.Ya., Leibo A.N. *Oborudovaniye neftepererabatyvayushchikh zavodov i yego ekspluatatsiya* [Equipment of oil refineries and its operation]. St. Petersburg: Chemistry, 1966. 343 p. (In Russ.).

18. Matveikin V.G., Dmitrievsky B.S., Kokuev A.G., Dzhambekov A.M. [The task of controlling the process of catalytic reforming and the method of its solution], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources], 2019, vol. 330, no. 6, pp. 59-67. (In Russ., abstract in Eng.).

19. Polyak B.T., Shcherbakov P.S. *Robastnaya ustoychivost' i upravleniye* [Robust stability and control], Moscow: Science, 2002, 303 p. (In Russ.).

20. Zhorov Yu.M. *Raschety i issledovaniya kataliticheskikh protsessov neftepererabotki* [Calculations and studies of catalytic processes of oil refining]. Moscow: Chemistry, 1973, 216 p. (In Russ.).

Erstellen eines Dampfversorgungsprozessmodells in einer Ö raffinerie

Zusammenfassung: Es ist der technologische Prozess der Dampfversorgung eines Raffinerie-Unternehmens betrachtet, der aus Verbraucheranlagen und Mittel- und Hochdruckdampferzeugern besteht, die durch Rohrleitungen in Reihe und parallel verbunden sind. Als Ergebnis der Analyse sind die Merkmale des Kontrollobjekts identifiziert, der Einfluss von Eingabewerten, einschließlich störender Werte, auf die Ausgabewerte ist untersucht und Steuereinflüsse sind bestimmt. Auf der Grundlage von Materialverteilungsschemata sind mathematische Modelle von Anlagen erstellt, die Dampf unterschiedlichen Drucks sowie Kondensat verbrauchen und erzeugen. Die Modelle bestehen aus Stoff- und Energiebilanzgleichungen und sind notwendig, um das Management der Energieressourcen – Mittel- und Hochdruckdampf – zu verbessern.

Construction d'un modèle d'approvisionnement en vapeur dans une raffinerie de pétrole

Résumé: Est examiné le processus technologique d'alimentation en vapeur d'une raffinerie de pétrole qui est constituée à partir des installations consommateurs et des installations génératrices de vapeur à moyenne et haute pression connectées en série et en parallèle par des pipelines. À la suite de l'analyse, sont identifiées les caractéristiques de l'objet de contrôle, est étudiée l'influence des valeurs d'entrée, sont déterminés les perturbations sur la sortie et les effets de contrôle. À la base des schémas de distribution des matériaux, sont construits des modèles mathématiques des installations consommant et produisant de la vapeur de pression différente, ainsi que du condensat, Les modèles sont constitués d'équations du bilan matériel et énergétique et sont nécessaires pour améliorer la gestion des ressources énergétiques – vapeur moyenne et haute pression.

Авторы: *Муромцев Дмитрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», проректор по научной работе; *Дмитриевский Борис Сергеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные процессы и управление»; *Василевский Константин Сергеевич* – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; *Терехова Анастасия Андреевна* – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; *Гогорян Михаил Леонович* – студент; *Дмитриев Дмитрий Геннадьевич* – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.
